CURS 6

6. ELEMENTE CONSTRUCTIVE ALE TRANSMISIILOR PENTRU TRANSFORMAREA MIŞCĂRII

În construcţia sistemelor mecatronice există situaţii când este necesară obţinerea unei mişcări liniare sau de rotaţie la elementul condus, elementul conducător având mişcare de rotaţie, respectiv translaţie. Pentru realizarea transformării mişcării din rotaţie în translaţie se utilizează, cel mai frecvent, două tipuri de ***transmisii***: ***cu şurub de mişcare*** şi ***cu cremalieră***.

6.1. Transmisii cu şurub de mişcare

Transmisiile cu şurub de mişcare fac parte din categoria transmisiilor care transformă mişcarea de rotaţie în mişcare de translaţie sau invers şi sunt utilizate în construcţia sistemelor mecatronice datorită următoarelor *avantaje*:

- raport mare de reducţie;
- posibilitatea de a avea sau nu autofrânare;
- realizează mişcarea de translaţie cu precizie ridicată, măsurabilă cu mare exactitate;
- funcţionează fără zgomot;
- au randament destul de ridicat (0,5... 0,96).

6.1.1. Tipuri constructiv-funcţionale de transmisii cu şurub

Din punct de vedere *constructiv* - după natura frecării dintre elemente - se utilizează două categorii de transmisii şurub-piuliţă (**TSP**):

- cu frecare de alunecare între spire;
- cu corpuri de rostogolire.

Funcţional, transmisiile cu şurub de mişcare pot avea ca element conducător şurubul sau piuliţa, cu mişcare de rotaţie sau translaţie, iar ca element condus piuliţa, respectiv şurubul, obţinând variantele reprezentate schematic în fig. 6.1.

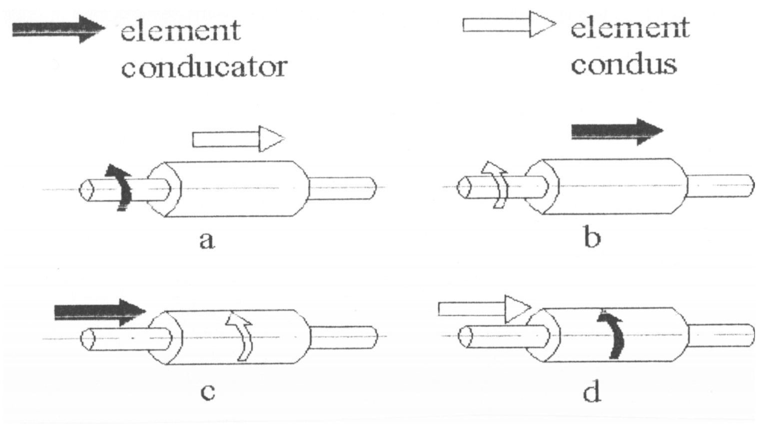


Fig. 6.1 Variante funcționale de transmisii cu şurub de mişcare

La transmisiile şurub-piuliță la care se impun cerințe legate de păstrarea preciziei cinematice mari în timp, viteze foarte mici fără pericol de apariție a mişcării sacadate şi siguranță sporită în funcționare, utilizarea variantei clasice cu frecare de alunecare între spirele filetului celor două elemente constructive este nesatisfacatoare. Reducerea frecării între elementele în contact şi creşterea randamentului transmisiei se realizează prin introducerea unor elemente suplimentare (corpuri de rostogolire: bile, role) între spirele şurubului şi piuliței.

6.1.2. Principiul constructiv şi funcțional al transmisiei şurub-piuliță cu bile

Transmisia şurub-piuliță cu bile - **TSPB** - este un ansamblu de transfer al forței şi mişcării ce aparține familiei transmisiilor de putere cu şurub de mişcare.

Caracteristica principală constructivă a şuruburilor cu bile constă în obținerea unei mişcări de rostogolire liberă a bilelor în canalele elicoidale, executate atât pe suprafața şurubului cât şi la interiorul piuliței, care înlocuiesc profilul filetului. Forma constructivă a şurubului cu bile trebuie să aibă în vedere funcționarea în circuit închis, adică readucerea bilelor în zona de lucru printr-un canal de recirculare.

Elementele constructive ale unei transmisii şurub-piuliță cu bile sunt reprezentate în fig. 6.2, în care s-au folosit următoarele notații:

1- şurub; *2* - bile; *3* - piuliţa; *4* - canal de recirculare; *5* – sistem de etanşare.

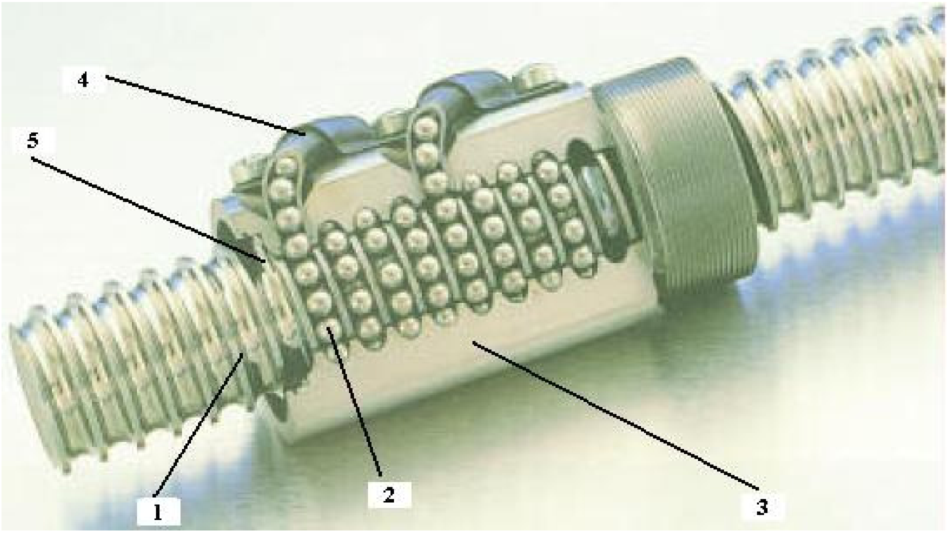
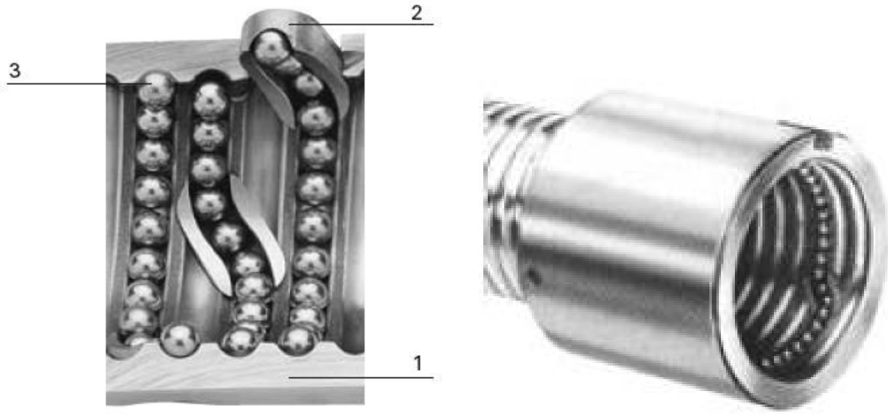


Fig. 6.2 Elementele constructive ale transmisiei şurub-piuliţă cu bile

Clasificarea transmisiilor şurub-piuliţă cu bile se face după mai multe *criterii*, astfel:

- după ***gama de diametre***
  - *normale* (standard) - cu diametre între 16 - 250 mm;
  - *miniaturale* - cu diametre între 3 - 16 mm;
- după ***modul de obţinere a canalelor elicoidale***:
  - prin *rectificare*;
  - prin *rulare* (deformare plastică la rece cu role calibrate);
- după ***sistemul de recirculare a bilelor***:
  - *în interiorul piuliţei* - fig. 6.3. Scoaterea bilelor *3* din zona contactului se realizează cu piese specifice (deflectorul *2*) care au rolul de a închide circuitul bilelor şi a ghida bilele pe canalele eliciodale adiacente ale piuliţei *1*. Cele două sau trei bile aflate în interiorul deflectorului la un moment dat nu "lucrează" deci nu sunt supuse la tensiuni şi astfel pot circula liber prin deflector;
  - *în exteriorul piuliţei* - prin ţeava - fig. 6.2;
  - *prin peretele piuliţei* - fig. 6.4. Închiderea circuitului bilelor se face printr-un canal deschis, exterior căii de rulare a bilelor, practicat în corpul piuliţei.

- după ***numărul*** şi ***starea piuliţelor*** plasate pe şurub:
  - cu *o piuliţă simplă* sau cu o flanşă
    - *fără pretensionare*;
    - *cu pretensionare* (pentru creşterea randamentului);
  - cu *două piuliţe pretensionate* (pentru transmiterea unor mişcări de mare precizie şi rigiditate sporită, pentru poziţionări precise);
- după ***tipul profilului canalului elicoidal***:
  - *semicircular*;
  - *ogival* - fig. 6.5.



a **b**

Fig. 6.3 Sistem de recirculare interna a bilelor

Transmisia şurub-piuliţă cu bile este frecvent utilizată în construcţiile mecatronice datorită urmatoarelor *avantaje*:

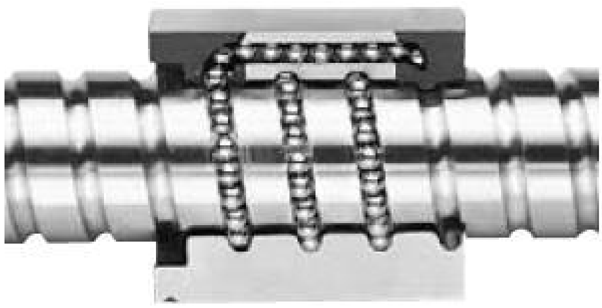
- coeficient de frecare mic, atât la pornire cât şi în funcţionare (μ = ***0,01… 0,003***) datorat rostogolirii bilelor între şurub şi piuliţă;
- uzare redusă şi deci durată de funcţionare mare;
- nu prezintă fenomenul de stick-slip (alunecare sacadată) şi are o mişcare cu uniformitate ridicată, deoarece forţele de frecare nu depind de viteză;
- capacitate de încărcare ridicată şi comportament de excepţie sub efectul sarcinii de încărcare;
- forţele de frecare pot fi reglate cu uşurinţă prin modificarea valorii forţei de preîncărcare;
- dezvoltă momente de frecare mici, la pornire şi în regim staţionar;



a



b



c

Fig. 6.4 Sisteme de recirculare a bilelor prin peretele piuliței

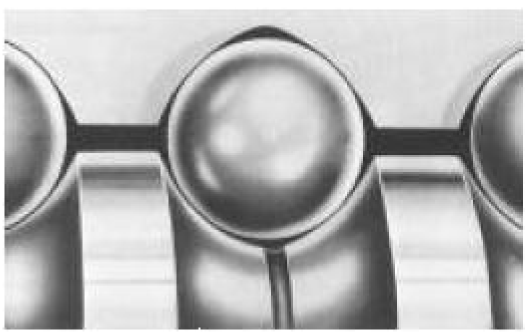


Fig. 6.5 Transmisie şurub-piuliță
cu profil ogival

- există posibilitatea eliminării totale a jocurilor axiale prin pretensionarea piuliței;
- asigură precizie de poziționare şi repetabilitate ridicate, ca rezultat al lipsei jocurilor şi rigidității mari;
- are viteză de deplasare rapidă mare;
- încalzire redusş - se pot utiliza într-o gamă largă de temperaturi între - 60 ^{0}C şi +150 ^{0}C;
- funcționează bine în medii corozive;
- necesități mai scăzute de lubrifiere;
- are randament mecanic foarte bun (η = ***0,9…0.99***) datorită pierderilor prin frecare scăzute (fig. 6.6);
- constanta de transformare a mişcării (raport de transfer) mare, care poate conduce la eliminarea transmisiilor reductoare intermediare între elementul de acționare şi cupla antrenată;
- are robustețe deosebită;
- poate constitui structuri cu dimensiuni şi mase relativ scăzute;
- fiabilitate ridicată.

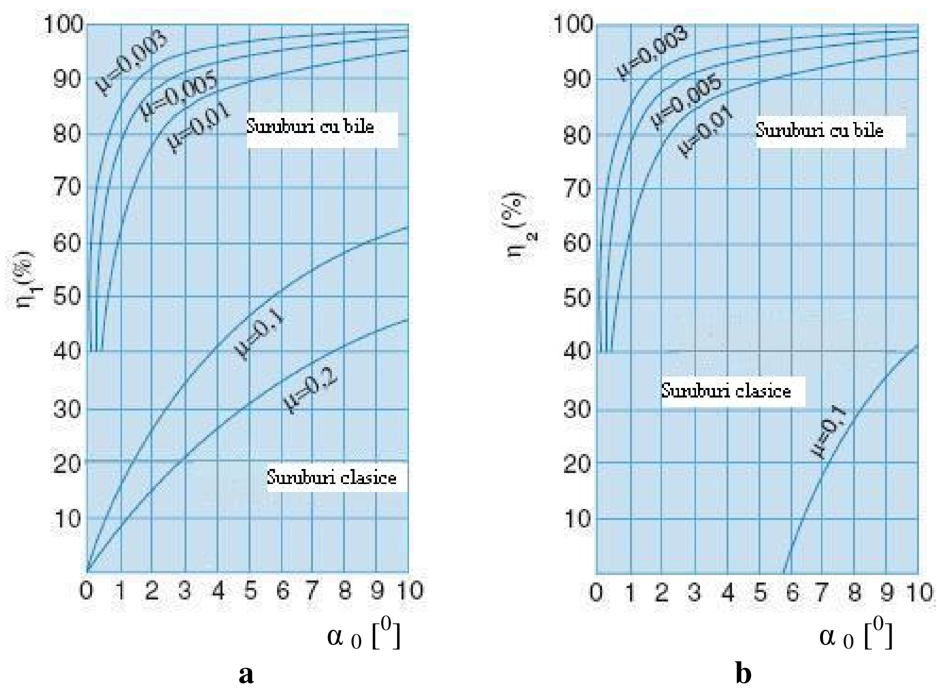


Fig. 6.6 Randamentul **TSPB**

Dezavantajele transmisiei şurub-piuliţă cu elemente intermediare de rostogolire sunt :

- construcţia mai complicată;
- necesită sisteme de pretensionare a piuliţei;
- utilizarea unor materiale, tratamente termice, prelucrări şi condiţii de precizie similare rulmenţilor;
- costuri mai ridicate - de aproximativ 10 ori faţă de transmisiile cu şurub de mişcare cu alunecare;
- amortizare redusă.

6.1.3. Materiale pentru elementele constructive ale transmisiei şurub-piuliţă cu bile

Alegerea materialelor elementelor constructive ale unei transmisii cu şurub de mişcare cu corpuri de rostogolire se face în funcţie de capacitatea portantă, durabilitatea şi precizia în funcţionare impuse.

Pentru elementul principal - **şurubul** - al transmisiilor obişnuite, fără condiţii de precizie deosebite, când duritatea suprafeţelor în contact poate fi sub 60 HRC, se utilizează ca materiale ***oţelurile laminate calitate***: *OLC 55*; *OLC 60* - STAS 880-88, cu compoziţie chimică constantă, cu tratament termic de călire prin curenţi de înaltă frecvenţă (CIF).

Pentru transmisiile de mare precizie se utilizează: ***oţeluri aliate*** pentru construcţia de maşini: *13 CrNi 30*; *21 TiMoCr 12*; *38 MoCrAl 09* - STAS 791-88; ***oţeluri de rulmenţi*** *RUL 1*; *RUL 2* - STAS 1456/1 - 88; ***oţeluri aliate de scule*** tratate termic sau termochimic pentru realizarea unei durităţi minime de 60 HRC pentru suprafeţele active.

Piuliţele şi **bilele** se execută din ***oţeluri de rulmenţi*** *RUL 1* şi *RUL 2* cu duritate de 61 - 63 HRC. La transmisiile şurub-piuliţă cu bile la care se impun cerinţe speciale de reducere a zgomotului aceste elemente constructive se pot confecţiona şi din materiale plastice: poliformaldehidice (delrin), politetrafluoretilena (teflon), etc.

6.1.4. Geometria elementelor constructive ale cuplei elicoidale cu rostogolire

Utilizarea tot mai frecventă a transmisiilor şurub-piuliţă cu bile pentru transformarea mişcarii de rotaţie în translaţie sau invers, a determinat măsuri de tipizare ale acestora cu privire la: profilul

flancurilor canalelor elicoidale şi dimensiunile elementelor constructive (corpuri de rulare, şurub şi piuliţă).

Principalele ***tipuri de profile*** şi dimensiunile căilor de rulare practicate pe suprafeţele şurubului şi piuliţei sunt reprezentate în fig. 6.7. Deoarece geometria contactului bilă-căi de rulare influenţează hotărâtor asupra performanţelor transmisiei, se recomandă utilizarea următoarelor tipuri de profile: *curbiliniu*, *rectiliniu* sau *combinat*.

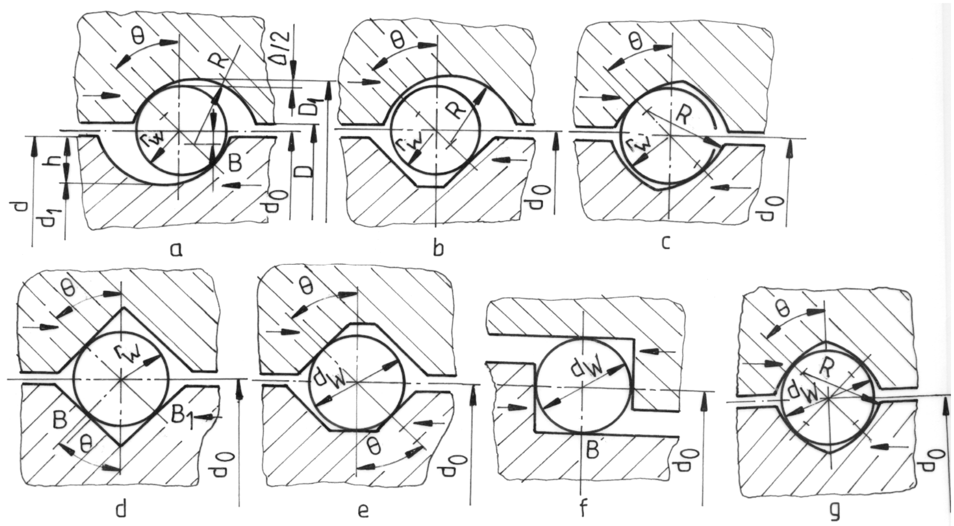


Fig. 6.7 Profile pentru căile de rulare ale **TSPB**

Pentru transmisiile şurub-piuliţă cu corpuri de rostogolire sferice (bile) cele mai utilizate *profile curbilinii* sunt:

- semicircular cu contact în două puncte - fig. 6.7, a;
- ogival (arc gotic) cu contact în două puncte - fig. 6.7, c;
- ogival cu contact în patru puncte - fig. 6.7, g.

Profilele rectilinii pentru flancurile canalului elicoidal au următoarele forme constructive:

- *triunghiular*ă - fig. 6.7, d;
- *trapezoidal*ă - fig. 6.7, e;
- *dreptunghiular*ă - fig. 6.7, f.

Profilele combinate realizează contacte diferite între bile şi cele două căi de rulare (ex: profil trapeziodal pentru şurub şi profil semicircular pentru piuliţă - fig. 6.7, b).

Profilele curbilinii ale canalelor eliciodale asigură capacitate portantă mai mare a transmisiei şurub-piuliţă cu rostogolire decât profilele

rectilinii, care sunt utilizate la transmisiile cinematice unde nu există solicitări importante (în construcţia de aparate de precizie ridicată cu deplasare lină).

Dimensiunile care definesc profilul canalului elicoidal de pe suprafeţele celor două elemente constructive principale (şurubul şi piuliţa) ale transmisiei sunt tipizate prin norme stabilite de firmele producătoare de şuruburi cu bile.

Pentru profilele curbilinii, parametrii geometrici ai zonelor active de contact bilă-căi de rulare sunt reprezentaţi în fig. 6.8, cu următoarele notaţii: D_W - diametrul bilelor; R - raza de curbură a profilului căilor de rulare; θ - unghiul de contact bilă-căi de rulare; d_0 - diametrul de dispunere a corpurilor de rulare; d_2 - diametrul exterior al şurubului; d_1 - diametrul interior al canalului elicoidal pentru şurub; d_3 - diametrul fusului arborelui filetat; D_1 - diametrul interior al piuliţei; D - diametrul exterior al canalului elicoidal pentru piuliţă; D_3 - diametrul corpului piuliţei.

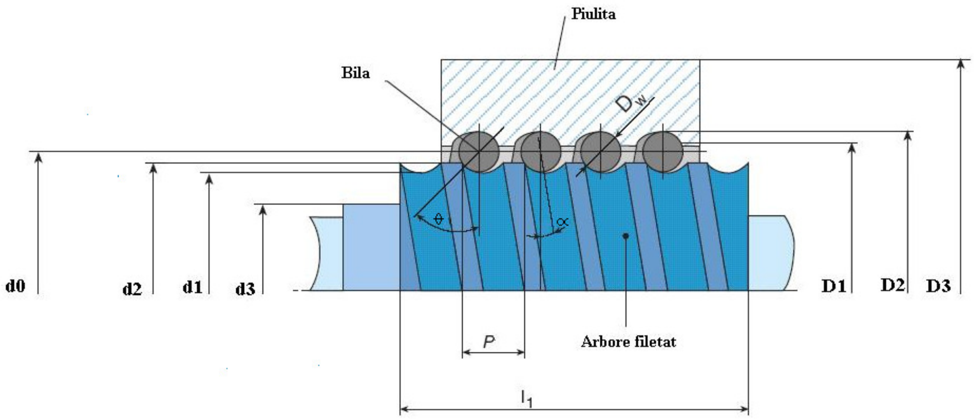


Fig. 6.8 Parametrii geometrici ai **TSPB**

Unghiul de contact θ este definit între direcţia normalei comune în punctul de contact al corpului de rostogolire (bila) şi căile de rulare, realizate pe suprafeţele active ale celor două elemente constructive (şurubul şi piuliţa) şi direcţia perpendiculară pe axa de simetrie a cuplei elicoidale care trece prin centrul bilei. Influenţa unghiului de contact asupra performanţelor transmisiei şurub-piuliţă cu bile este exemplificată prin graficele din fig. 6.9, în care sunt reprezentate dependenţele forţei axiale limită F_a , rigidităţii c şi randamentului η de unghiul θ (se observă

cazul optim de contact pentru $\theta = 90^0$). Obținerea unui profil al canalului elicoidal cu unghi de contact atât de mare ridică probleme tehnologice dificile; de aceea majoritatea firmelor producătoare de şuruburi cu bile realizează aceste profile cu unghiuri de contact θ mai mici, între 45^0 şi 60^0 (creşterea unghiului de contact la valori peste 45^0 este însoțită de creşteri nesemnificative ale randamentului transmisiei). De asemenea, în cazul unghiurilor de contact mai mari se impun măsuri constructive speciale pentru reducerea jocurilor axiale.

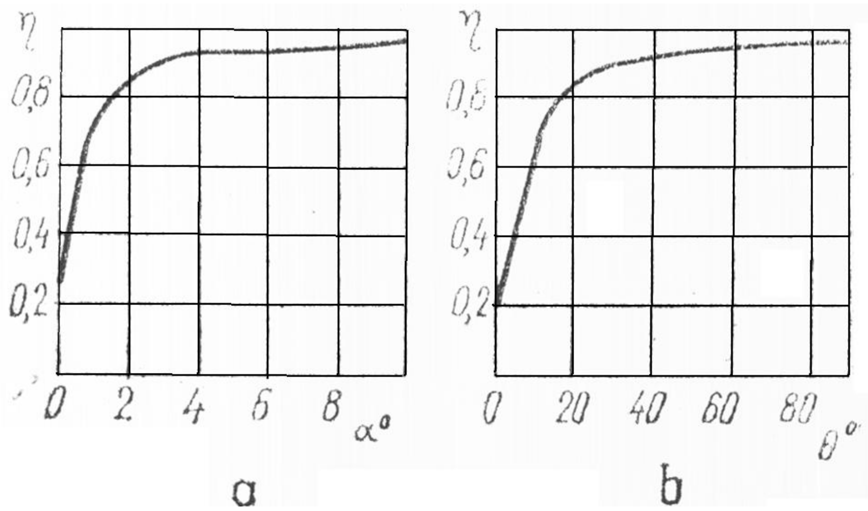


Fig. 6.9 Factori de influență asupra randamentului **TSPB**

Contactul dintre bile şi căile de rulare este caracterizat, similar ca la rulmenții cu bile, prin *factorul de conformitate* definit prin raportul:

$$f = \frac{R}{D_W} = \frac{R}{2 \cdot r_W} \qquad (6.1)$$

care influențează capacitatea portantă (pentru obținerea unei capacități portante maxime se impune ca, în punctul de contact, raportul razelor de curbură bilă-cale de rulare r_W / R să fie cuprins între ***0,95…0,97***, rezultând pentru factorul f o valoare recomandată între ***0,53*** si ***0,55***).

Pasul p de înfăşurare a elicei canalului profilat al şurubului şi piuliței este corelat, ca valoare, cu celelalte dimensiuni, obținând *unghiul de înfăşurare* α_0 *a spirei filetului* cu o relație de calcul asemănătoare cu cea de la transmisiile cu şurub de mişcare cu frecare alunecare între spire, considerând desfăşurarea spirei canalului elicoidal după diametrul de dispunere a bilelor:

$$\alpha_0 = arctg\left(\frac{p}{\pi \cdot d_0}\right) \qquad (6.2)$$

Diametrul bilelor D_W se stabileşte pe baza unui compromis între capacitatea portantă şi precizia cinematică, deoarece creşterea diametrului bilelor şi a numărului acestora asigură mărirea capacităţii portante a transmisiei, dar reduce precizia cinematică (datorită creşterii abaterilor de prelucrare şi a repartiţiei neuniforme a sarcinii exterioare pe bile). Din aceste considerente diametrul bilelor transmisiei şurub-piuliţă cu rostogolire se limitează în funcţie de pasul filetului la:

$$D_W = (0.55...0.65) \cdot p \qquad (6.3)$$

În mod obişnuit, soluţiile constructive de transmisii şurub-piuliţă cu bile utilizează elemente de rostogolire cu acelaşi diametru D_W, dar pentru creşterea randamentului şi reducerea uzurii flancurilor canalelor elicoidale se folosesc bile cu două dimensiuni, bilele separatoare fiind executate din bronz sau materiale plastice cu diametre cu 0,2 ... 0,05 mm mai mici decât bilele principale.

Numărul de bile z dispuse între şurub şi piuliţă se determină din condiţia de rezistenţă la solicitarea de contact între elementele constructive.

Înălţimea piuliţei H se calculează în funcţie de pasul filetului:

$$H = z_{st} + (1...1.5) \cdot p \qquad (6.4)$$

în care: z_{st} - numărul minim (standardizat) de spire ale piuliţei, care se alege din tabelul 6.1 în funcţie de *numărul de spire active* z_a determinat, pe baza numărului de bile z necesare preluării sarcinii axiale exterioare, cu relaţia:

$$z_a = z \cdot \frac{D_W}{\pi \cdot d_0} \cdot \cos\alpha_0 \qquad (6.5)$$

Tabelul 6.1

Numărul de spire active z_a	2,5	3,5	5	10,5
Numărul minim de spire ale piuliţei z_{st}	4,5	5,5	7,5	13,5